

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ENVIRONMENTÁLNÍ ASPEKTY PROVOZU KOTLŮ NA BIOMASU

THE ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BIOMASS BOILERS OPERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

SLAVÍČEK MARTIN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Pavlas

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Slaviček Martin

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Environmentální aspekty provozu kotlů na biomasu

v anglickém jazyce:

The environmental aspects of biomass boilers operation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše, schémata

Cíle bakalářské práce:

Seznámení se s charakteristickými vlastnostmi spalovaných surovin, s požadavky na zařízení pro spalování biomasy, včetně legislativy. Prostudovat systémy čištění spalin vznikajících při spalování biomasy. Zhodnocení reálně dosahovaných emisí v těchto zařízeních a jejich vliv na životní prostředí.

Seznam odborné literatury:

- [1] Koutský M., Machníková E., Adamová J., Vošta J., Spalování biomasy –persistentní organické polutanty, In Sborník příspěvků ze semináře Energie z biomasy – I, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Energetický ústav, edit P. Dvořák, Brno, (2001)
- [2] Loo van S., Koppejan J., Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, Twente University Press, ISBN 9036517737, (2002)
- [3] Obernberger I., Decentralized biomass combustion: state of the art and future development, Biomass and Bioenergy 14, pp. 33 – 56, (1998)
- [4] Kadrnožka, J.: Energie a globální oteplování, ISBN 80-214-2919-4, VUTUM, 2006
- [5] Nařízení vlády č. 352/2002 Sb

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Pavlas

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 1.11.2007

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Hlavní náplní této práce je seznámení se s oblastí využití biomasy pro energetické účely. Úvod práce je zaměřen na obnovitelné zdroje energie a jejich využití a na využití biomasy jako paliva, rozdělení a charakteristiku biomasy. Dále je popsána legislativa ČR týkající se požadavků na zařízení na spalování biomasy s uvedením příkladů různých technologií kotlů na biomasu. Je zde pojednáno o emisích vznikajících při spalování biomasy, s uvedením konkrétních dosahovaných hodnot.

Abstrakt:

The content of this thesis focuses on the subject of biomass usage for energetic purposes. The introduction deals with the renewable energetic resources and their utilization and utilization of the biomass as a fuel, its division and characteristics. The following part deals with the legislation in the Czech Republic for the machinery used for combustion of biomass and its standards. Examples of different technology used in boilers and generators for biomass is mentioned as well. Then the biomass emissions with their specific values are discussed.

Klíčová slova:

Biomasa, emisní limity, účinnost spalování, kotle na biomasu, obnovitelné zdroje energie, spalování biomasy

Keywords:

Biomass, emission standards, combustion efficiency, biomass boiler, renewable energetic resources, biomass combustion

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

SLAVÍČEK, M. *Environmentální aspekty provozu kotlů na biomasu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 38 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Pavlas

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval zcela samostatně. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 19.května 2007

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Martinu Pavlasovi, za odborné vedení a podporu při vypracování této bakalářské práce.

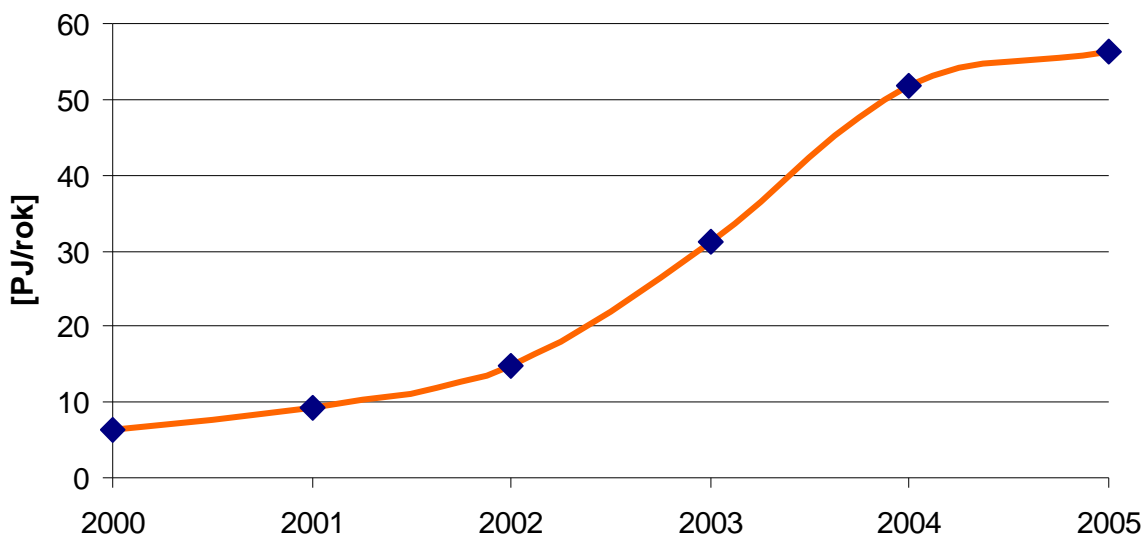
Obsah:

1. Úvod	- 9 -
2. Obnovitelné zdroje energie	- 10 -
2.1. Biomasa pro energetické využití	- 11 -
2.2. Akční plán pro biomasu pro ČR.....	- 11 -
2.3. Potenciál biomasy	- 12 -
3. Využití biomasy jako paliva.....	- 13 -
3.1. Rozdělení biomasy	- 13 -
3.1.1. Zemědělská biomasa	- 13 -
3.1.2. Lesní biomasa.....	- 13 -
3.1.3. Zbytková biomasa	- 13 -
3.2. Charakteristika vzorků	- 14 -
4. Zařízení na spalování biomasy	- 16 -
4.1. Legislativa	- 16 -
4.1.1. Zvláště velké spalovací zdroje	- 16 -
4.1.2. Velké a střední spalovací zdroje.....	- 19 -
4.1.3. Malé spalovací zdroje.....	- 20 -
4.2. Spalování biomasy	- 21 -
4.2.1. Kotle malých výkonů do 200 kW	- 21 -
4.2.2. Kotle velkých a středních výkonů 0,2 až 5 MW	- 24 -
4.2.3. Kotle zvláště velkých výkonů 5 MW a více	- 28 -
5. Emise charakteristiky kotlů na biomasu.....	- 29 -
5.1. Emisní měření na biomasovém kotli	- 30 -
5.2. Vliv kolísání výkonu na emise	- 32 -
5.3. Persistentní organické látky při spalování biomasy	- 33 -
6. Závěr.....	- 35 -
7. Seznam použitých zdrojů	- 36 -
8. Seznam použitých zkratk a symbolů	- 38 -

1 Úvod

Od začátku průmyslové revoluce až po současnou dobu dochází k velmi rychlému technickému a ekonomickému pokroku. S tím souvisí i stále masovější používání fosilních paliv. Je všeobecně známo, že tento fakt má za následek zvyšování oxidu uhličitého v ovzduší a tím rostoucí intenzitu skleníkového efektu a globálního oteplování planety. Těžba a následná spotřeba fosilních paliv stále pokračuje s rostoucí tendencí. Je to dáno hlavně zvyšujícím se počtem obyvatel a jejich rostoucími životními nároky. Tento trend je obtížné ovlivnit, a proto se člověk snaží obrátit pozornost na zdroje energie, které jsou environmentálně příznivější. Jde o zdroje energie, které by omezily spalování fosilních paliv. Jedním ze způsobů omezení spotřeby fosilních paliv je využití obnovitelných zdrojů energie, které byly využívány po celou dobu existence lidstva.

Biomasa je obnovitelným zdrojem energie, který je z pohledu bilance oxidu uhličitého neutrální. Při spalování biomasy vzniká oxid uhličitý, ale stejné množství oxidu uhličitého je spotřebováno při vytváření biomasy procesem fotosyntéza. Energetické využití biomasy má pozitivní vliv na globální ekosystém. Spotřeba biomasy se v ČR neustále zvyšuje, což je způsobeno vzrůstajícím zájmem o využití biomasy k energetickým účelům. Pro rok 2010 má ČR stanoven indikativní cíl ve výši 6% podílu obnovitelných zdrojů energie (OZE) na celkové spotřebě primární energetických zdrojů (PEZ). V roce 2006 činil tento podíl 4,3 %, přičemž 3,4 % připadala na biomasu, která zaujímá v ČR zhruba 75 % všech OZE. [1] Obr. 1 uvádí průběh spotřeby biomasy v období let 1999 – 2005 v ČR. [2]



Obr. 1 Spotřeba biomasy v ČR [2]

2 Obnovitelné zdroje energie

Podle Zákona č. 180/2005 Sb. se obnovitelnými zdroji energie rozumí obnovitelné nefosilní palivo, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skladovaného plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu. [3]

V České republice jsou z OZE nejvíce zastoupeny tyto druhy energií:

- Sluneční energie
- Větrná energie
- Vodní energie
- Energie z biomasy

Vývoj spotřeby a podílu jednotlivých druhů primárních energetických zdrojů v ČR v letech 1995, 2000, 2005 a 2006 je uveden v tabulce 1.1.

Druh paliva	1995		2000		2005		2006	
	v %	v PJ	v %	v PJ	v %	v PJ	v %	v PJ
Tuhá paliva	57,5	1005,70	54,7	906,4	46,6	891,4	44,3	843,5
Kapalná paliva	18,4	321,5	19	314,7	20,4	389,8	20	380
Plynná paliva	16	279,2	19,2	317,8	17,5	334,6	18,6	354,6
Prvotní teplo	7,7	134,3	8,9	147,5	14	268,8	14,9	284,1
Prvotní elektřina	0,5	8,7	-1,8	-29,7	-1,9	-36,8	-1,9	-36,1
OZE (bez vod)	-	-	-	-	3,5	67	4,1	77,7
celkem	100	1749,4	100	1656,7	100	1914,8	100	1903,8

Tabulka č. 1.1 Skladba spotřeby a podílu primárních energetických zdrojů (v % a v PJ) v ČR

Pozn.: Záporné hodnoty spotřeby prvotní elektřiny jsou ovlivněny saldem vývozu a dovozu. Prvotní elektřina je elektřina vyrobená ve větrných, vodních a fotovoltaických elektrárnách plus saldo dovozu a vývozu. Prvotním teplem se rozumí teplo vyrobené v jaderných reaktorech, geotermální a solární teplo [4].

V různých zemích světa je rozsah a využití OZE velmi rozdílný. Je to dáno hlavně přírodními podmínkami dané lokality. Například v Norsku, Rakousku a v řadě dalších zemích mají možnost velkého rozvoje vodních elektráren. Na Islandu je hlavním OZE geotermální energie. V jiných zemích se stálou, velkou intenzitou slunečního svitu, může být prospěšné využití fotovoltaických elektráren pro výrobu tzv. „zelené elektřiny“. Stejně to může být v lokalitách s ustálenou a dosti velkou rychlostí větru, kde se dá tato energie účelně využít výstavbou větrných elektráren [5].

V České republice je technicky využitelný hydraulický potenciál vyčerpán na méně než 50 procent a další rozvoj lze předpokládat už jen u menších vodních elektráren (< 10MW) na menších tocích, neboť u větších řek je tento potenciál již plně vyčerpán a zbytek je využíván k jiným účelům. V České Republice jsou průměrné rychlosti větru velmi malé. Nejsou zde tedy příznivé podmínky k výstavbě větrných elektráren. I přes neúčelnost se tyto elektrárny stavějí a to jen díky přijetí zákona o podpoře výroby elektřiny z OZE. Sem spadá i podpora větrných elektráren. Velký podíl na nárůstu celkové výroby elektrické energie nemají. V ČR se využívá energie slunečního záření stále víc, ale taktéž nemá velký podíl na nárůstu celkové výroby energie. Využívá se často u menších projektů, jako např. k ohřevu bazénu. Přímé

využití geotermální energie, se u nás nevyužívá a je teprve ve stádiu příprav. Proto podle Státní energetické koncepce z roku 2004 bude mít v obnovitelných zdrojích hlavní význam biomasa [4, 5].

2.1 Biomasa pro energetické využití

Z hodnot energie obsažené v biomase pro výrobu tepla a elektrické energie v roce 2006, jež jsou uvedeny v následující tabulce 2.1, plyne, že biomasa pro energetické využití zaujímá v OZE nejvyšší podíl. Jde o odhad Ministerstva průmyslu a obchodu, který se vztahuje k energii obsažené v použitém palivu a není brána v potaz účinnost zařízení. Důležitou roli v tomto odhadu hraje tradiční způsob vytápění biomasou v domácích kotlích. V poslední době se tento způsob vytápění stává stále populárnější, jelikož všeobecně cena energií roste a tento způsob vytápění je nejlevnější. V těchto kotlích a krbech dochází kromě spalování čisté a suché biomasy také ke spalování biomasy kontaminované, případně nejen biomasy. Většina těchto kotlů vyžaduje palivo o vlhkosti menší než 20 %. Často se ale používá palivo o vlhkosti až 50 %, což má za následek snížení účinnosti kotle a spalovacího procesu. Tyto aspekty se projevují negativním dopadem na emisní hodnoty znečišťujících látek vypouštěných do atmosféry [4].

	Energie v palivu užitém na výrobu tepla (GJ)	Energie v palivu užitém na výrobu elektriny (GJ)	Obnovitelná energie celkem (GJ)	Podíl na PEZ	Podíl na energii z OZE
Biomasa mimo domácnost	19 920 070,93	5 609 825,23	25 529 896,16	1,34%	31,16%
Biomasa domácnosti	40 138 138,37	-	40 138 138,37	2,11%	48,99%

Tabulka č. 2.1 Celková energie z biomasy pro rok 2006 [4]

2.2 Akční plán pro biomasu pro ČR

Tento plán vznikl v důsledku rostoucích požadavků na využívání biomasy v energetice, v dopravě, jako doplněk pohonných hmot, a dalších. Hlavním účelem Akčního planu je usměrnit a upravit stávající opatření tak, aby se do roku 2010 zefektivnily přístupy k využívání biomasy a tím se zvýšilo její využití. Akční plán pro biomasu pro ČR reaguje na závazky ČR vůči Evropské unii, které vyplynuly z Akčního plánu pro biomasu EU, schválený 7.12.2005 – COM(2005)628 [6].

Shrnutí konkrétních cílů EU, které jsou podstatné ve vztahu k Akčnímu plánu [7]:

- 12 % celkového podílu OZE na PEZ v roce 2010
- 20% podíl OZE na PEZ pro rok 2020; v jednání je rozdělení podílu jednotlivých členských států
- 21 % podílu elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny na vnitřním trhu EU v roce 2010; pro ČR 8 % podílu elektřiny na hrubé domácí spotřebě v roce 2010 z OZE
- 5,75 % podílu kapalných biopaliv z celkového objemu PHM v roce 2010
- 10 % podílu kapalných biopaliv z celkového objemu PHM v roce 2020
- Zdvojnásobení využití energie z biomasy z roku 2003 do roku 2010

2.3 Potenciál biomasy

Potenciál biomasy se dá rozdělit do 3 odvětví a to na:

- Potenciál biomasy pěstované
- Potenciál lesní biomasy
- Potenciál bioplynu

Ke splnění akčního plánu do roku 2010 bude potřeba tento potenciál využít a jak je vidět z tabulky 2.2, tak nejvíce bude třeba využít potenciálu biomasy pěstované. A to jak pěstováním rychlerostoucích dřevin, tak pomocí energetických rostlin bylinného charakteru. A to zvláště v těch regionech ČR, kde jsou pro pěstování vhodné podmínky. Při tomto výběru by se měla zvažovat výnosnost půdy, hornatost terénu, intenzita slunečního záření a další. Na českém území v současnosti leží ladem asi 0,5 milionů hektarů půdy. Pro splnění cílů do roku 2010 by stačilo využít asi polovinu této půdy. Lesní biomasa, která zahrnuje využitelné zbytky z dřevozpracujícího průmyslu, zbytky po těžbě v lese, palivové dřevo, by se měla stále využívat, ale rozšiřování těžby lesa by bylo z pohledu ekologického neudržitelné [5, 8].

Druh biomasy	Dostupný potenciál v PJ
Palivové dřevo a odpadní dřevo, ostatní tuhá biopaliva	44,8
Pěstovaná biomasa	136
Biopaliva a bioplyn	16

Tabulka č. 2.2 dostupný potenciál biomasy v ČR, rok 2004 [8]

3 Využití biomasy jako paliva

V současné době se pohlíží na biomasu jako na palivo víceméně jednoduchých vlastností o jehož výhřevnosti rozhoduje pouze obsah vody. Je to velice zjednodušený pohled, který vede k výrobě jednoduchých, univerzálních zařízení ke spalování, přitom však ze zkušeností je patrné, že například i jednotlivé druhy dřeva se výrazně liší při spalování v ohništích. Proto je podrobnější znalost parametrů biopaliv nezbytná pro vývoj modernějších zařízení [9]. Jelikož se biomasa nedá zkoumat jako celek, je rozdělena do různých kategorií, které je uvedeno v následující kapitole.

3.1 Rozdělení biomasy

Biomasa se dá dělit podle mnoha kritérií. Dle vyhlášky č. 482/2005 Sb. [10], o stanovení druhů, způsobu využití a parametrů biomasy, lze biomasu zjednodušeně rozdělit na tři základní skupiny.

3.1.1 Zemědělská biomasa

Do zemědělské biomasy se zahrnuje veškerá fytomasa pěstovaná na zemědělské půdě. Konkrétně obsahuje tyto druhy biomasy:

- cíleně pěstovaná biomasa
- biomasa obilovin a olejnin
- trvalé travní porosty
- rychlerostoucí dřeviny pěstované na zemědělské půdě
- rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny

3.1.2 Lesní biomasa

Lesní biomasu, neboli dendromasu, tvoří:

- palivové dřevo
- zbytky z lesního hospodářství

3.1.3 Zbytková biomasa

Jsou to hlavně vedlejší produkty zemědělského a zpracovatelského průmyslu, zahrnující následující druhy biomasy:

- papírenského průmyslu
- potravinářského průmyslu
- lihovarnické výpalky
- biologicky rozložitelný odpad
- průmyslu zpracování dřeva
- živočišného průmyslu

- čistírenské kaly
- ostatního průmysl

Jelikož se tato práce zabývá energetickým využitím biomasy (spalování), postačí nám nejzákladnější rozdělení biomasy, které se dá v podmínkách České Republiky použít:

- dřeviny
- stébelniny
- zbylá biomasa – směsi a odpady

Stébelniny a dřeviny se dají dále rozdělit do dvou kategorií, na záměrně pěstovanou biomasu pro energetické účely a na odpady vzniklé zpracováním biomasy k jiným účelům. Dřeviny se na našem trhu nejčastěji vyskytují ve formě kusového dřeva, pilin, hoblin, štěpek, kůry, v případně dalšího mechanického zpracování ve formě peletek a briket. Stébelniny jsou dostupné ve formě řezanky, volně ložené slámy nebo balíku různých rozměrů. Peletky a brikety se z těchto rostlin také dají vyrábět. Jejich nevýhoda je ale v nízké mechanické odolnosti vůči rozpadu, která je dána nízkým obsahem pojivové látky. [9]

3.2 Charakteristika vzorků

K detailnějšímu rozboru energetických vlastností může posloužit 15 charakteristických druhů vzorků biomasy z tabulky 3.1. Vybrané vzorky by měly reprezentovat druhy biomasy, které jsou energeticky perspektivní pro využívání v České Republice. Tento detailnější rozbor byl proveden v literatuře [9].

STÉBELNINY	Odpadní biomasa	Jednoletá	Obilnina	Sláma	Pšenice
			Olejnina	Sláma	Řepka olejná
			Přadná rostlina	Odpady ze zpracování	Len setý
			Obilnina		Kukuřice
			Olejnina	Celé rostliny	Saflor
			Pseudoobilnina	Celé rostliny	Amarant
			Pícnina	Celé rostliny	Sléz krmný
DŘEVINY	Odpadní biomasa	Víceletá	Pícnina (původně)	Celé rostliny	Šťovík krmný
		Víceletá	Listnaté		Buk
					Bříza
					Akát
			Jehličnaté		Borovice
					Smrk
	Záměrně pěstovaná biomasa		Listnaté		Topol
					Vrba

Tabulka č. 3.1 Základní druhy biomasy a jejich rozčlenění [9]

Tyto základní druhy biomasy se jako palivo nepoužívají v přirozeném, původním tvaru, ale na spalování se použije většinou jen část z nich. V tabulce 3.2 jsou sepsány základní vlastnosti různých druhů těchto částí, tedy biopaliv.

palivo	výhřevnost v MJ/kg	obsah vody v %	obsah vodíku v %	obsah kyslíku v %	obsah dusíku v %	obsah uhlíku v %	obsah síry v %
dřevní štěpka hrubá	12,5 – 14	25 – 30	5,3	41,4	0,1	45	0
dřevní štěpka drobná	6	do 60	-	-	-	-	0
kůra jehličnanů čerstvá	5 – 6	56 – 63	-	-	-	-	0,05
kůra jehličnanů skladovaná	9 – 12,4	30 – 46	-	-	-	-	0,1
piliny	do 16	do 15	-	-	-	-	0
sláma obilná	14	20	5,6	38	0,4	47	0,1
sláma řepková	15	20	5	40	0,2	46	0,2

Tabulka č. 3.2 Základní vlastnosti biopaliv [11, 12, 13]

pozn.: obsahy vodíku, kyslíku, dusíku, uhlíku sepsány u dřevní štěpky platí
všeobecně pro dřevo

4 Zařízení na spalování biomasy

Biomasa se dá využívat mnoha způsoby. Díky moderní době se velká pozornost věnuje produkci kapalných biopaliv. Lokálně vyrobené biopalivo nahrazuje část dovážené ropy. Toto má význam nejen ekologický a energetický, ale také politický, jelikož dochází ke snižování závislosti na dovozu ropy. V současné době se převážná část elektrické energie vyrábí z fosilních paliv, jako je uhlí, ropa nebo zemní plyn, přičemž každoročně dochází k nárůstu cen těchto zdrojů energie. Je proto důležité, aby docházelo ke zvyšování produkce jak tepelné tak elektrické energie právě z OZE, kde má nejvyšší zastoupení biomasa. Biomasa má mnoho využití, ale největší význam má biomasa jako zdroj tepelné energie.

Tepelnou energii lze z biomasy získat různými způsoby. Zatím nejrozšířenější způsob je pomocí přímého spalování v kotlích různých výkonů a velikostí. Pro stacionární zdroje jsou předepsané emisní limity a podmínky při provozování uvedeny v Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. Stacionárním zdrojem se rozumí zařízení, ve kterém se oxidují paliva za účelem využití uvolněného tepla.

4.1 Legislativa

Pro účely Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. se rozumí biomasou rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství lesnictví, nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenové organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející z stavebnictví [14].

V tomto nařízení se zdroje spalující biomasu rozdělují podle výkonů na [14]:

- zvláště velké spalovací zdroje (výkon nad 5 MW)
- velké a střední spalovací zdroje (výkon od 200 kW do 5 MW)
- malé spalovací zdroje (výkon do 200 kW)

4.1.1 Zvláště velké spalovací zdroje

Zvláště velké spalovací zdroje spalující biomasu jsou zdroje o minimálním jmenovitém tepelném výkonu 5 MW. V České republice se moc nevyskytují, až na pár výjimek. Jako například kotel od firmy TTS eko s.r.o. viz obr. 4.1.



Obr. 4.1 Termoolejový kotel 7 MW [15]

Provozovatel těchto kotlů je povinen zjišťovat emise znečišťujících látek jednorázovým měřením při obvyklém provozním výkonu zdroje. První měření je třeba vykonat po uvedení zdroje do provozu. Další měření je třeba uskutečnit po každé změně paliva nebo po každém výrazném a trvalém zásahu do vybavení nebo konstrukce zdroje, a to do 6 měsíců od vzniku jedné ze změn. Dále pak jednou za tři kalendářní roky [14].

Emisní limity pro zvláště velké zdroje jsou stanovené v závislosti na tepelném příkonu zdroje a jsou uvedeny v tabulkách 4.1a až 4.4 [14] pro:

- oxid siřičitý (SO_2)
- oxidy dusíku (jako NO_2)
- tuhé znečišťující látky (TZL)
- oxid uhelnatý (CO)

Tabulky jsou rozděleny na:

- nové zdroje, což jsou zařízení na které bylo vydáno stavební povolení po 1. červenci 1987,
- budoucí nové zdroje, což jsou zařízení na které bylo vydáno stavební povolení po 1. červenci 2004.

Hodnoty emisních limitů jsou vztaženy na normální stavové podmínky, na suchý plyn a na referenční obsah kyslíku 6 %.

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	50 až 100	100 až 500	> 500
Emisní limit (mg/m ³)	2000	2000 – 400 S lineárním poklesem*)	400

Tabulka č. 4.1a Hodnoty emisních limitů pro SO₂ pro tuhá paliva spalovaná v nových zdrojích

*)tepelný příkon (P v MWt) emisní limit (EL v mg/m³)
 $EL = 2400 - 4P$

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	50 až 100	100 až 300	> 300
Emisní limit (mg/m ³)	200	200	200

Tabulka č. 4.1b Hodnoty emisních limitů pro SO₂ pro tuhá paliva spalovaná v budoucích nových zdrojích

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	50 až 500	> 500
Emisní limit (mg/m ³)	600	500

Tabulka č. 4.2a Hodnoty emisních limitů pro NO_x pro tuhá paliva spalovaná v nových zdrojích

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	50 až 100	100 až 500	> 500
Emisní limit (mg/m ³)	400	300	200

Tabulka č. 4.2b Hodnoty emisních limitů pro NO_x pro tuhá paliva spalovaná v budoucích nových zdrojích

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	< 500 MW	> 500 MW
Emisní limit (mg/m ³)	100	50

Tabulka č. 4.3a Hodnoty emisních limitů pro tuhé znečišťující látky pro tuhá paliva spalovaná v nových zdrojích

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	50 až 500 MW	> 100
Emisní limit (mg/m ³)	50	30

Tabulka č. 4.3b Hodnoty emisních limitů pro tuhé znečišťující látky pro tuhá paliva spalovaná v budoucích nových zdrojích

Jmenovitý Tepelný příkon (MW)	>= 50	< 50
Emisní limit (mg/m ³)	250	400

Tabulka č. 4.4 Emisní limity pro oxid uhelnatý platí pro všechny zvláště velké spalovací zdroje, bez ohledu na datum vydání stavebního povolení

4.1.2 Velké a střední spalovací zdroje

Jsou to zdroje o jmenovitém výkonu v rozsahu od 0,2 do 5 MW. Emisní limity pro velké a střední zdroje jsou stanovené v závislosti na tepelném výkonu zdroje pro oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý a tuhé znečišťující látky a jsou uvedeny v tab. 3.5. Pokud se v jedné budově objevuje více zdrojů, které spalují stejný druh paliva a spaliny vypouští stejným komínem, pak se pro stanovení emisních limitů výkonu zdrojů sčítají [14].

Zjišťování znečišťujících látek:

U velkých a středních zdrojů se obvykle provádí jednorázovým měřením, pokud provozovatel nemá povinnost měřit kontinuálně. Hodnoty emisních limitů z tabulky 4.5 se považují za splněna, pokud střední hodnota ze všech měření nepřekračuje limit a současně každá hodnota zjištěné koncentrace jednotlivých měření znečišťující látky je menší než 120 % emisního limitu [14].

- U velkých zdrojů (3 až 5 MW) se zjišťování znečišťujících látek provádí jednorázovým měřením jednou za kalendářní rok. Měření nesmí proběhnout dříve než po uplynutí 6 měsíců od data předchozího měření. Také musí proběhnout měření při každé změně paliva, nebo při významném trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje a to nejpozději do 3 měsíců od vzniku změny.
- U středních zdrojů o tepelném výkonu rovném nebo vyšším než 1 MW se zjišťování znečišťujících látek provádí jednorázovým měřením jednou za 3 kalendářní roky. Měření nesmí proběhnout dříve než po uplynutí 18 měsíců od data předchozího měření. Také musí proběhnout měření při každé změně paliva, nebo při významném trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje a to nejpozději do 3 měsíců od vzniku změny.
- U středních zdrojů o tepelném výkonu do 1 MW se zjišťování znečišťujících látek provádí jednorázovým měřením jednou za 5 kalendářních roků. Měření nesmí

proběhnou dříve než po uplynutí 30 měsíců od data předchozího měření. Také musí proběhnout měření při každé změně paliva, nebo při významném trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje a to nejpozději do 3 měsíců od vzniku změny.

Tepelný výkon (MW)	Emisní limit pro (mg/m ³)					Referenční obsah kyslíku % O ₂
	Tuhé zneč. látky	Oxid siřičitý	Oxidy dusíku jako NO ₂	Oxid uhelnatý	Organické látky jako suma uhlíku	
0,2 nebo vyšší, ale tepelný příkon menší než 50 MW	250	2500	650	650	50	11

Tabulka č. 4.5 Emisní limity pro znečišťující látky u velkých a středních spalovacích zdrojů [14]

4.1.3 Malé spalovací zdroje

Mezi tyto zdroje se řadí zdroje o maximálním jmenovitém výkonu 200 kW. Malé spalovací zdroje musí při provozu splňovat určité parametry provozu, které jsou následující [14]:

- Každý takový zdroj musí spalovat palivo alespoň s účinností dle tabulky 4.6. Tato účinnost se pak musí kontrolovat jedenkrát za 2 roky.
- Tyto zdroje musí spalovat palivo tak, aby koncentrace CO ve spalínách nepřekročila maximální hodnotu 1000 ml/m³. To vše je při referenčním obsahu kyslíku 6 %.
- Musí se provádět kontrola spalínových cest jednou za 6 měsíců. Při této kontrole se ověřuje, zda-li
 - je zajištěn bezpečný odvod a rozptyl spalín ze spotřebiče do ovzduší.
 - je ve spalínové cestě dostatečný počet vhodných čistících, měřících a kontrolních otvorů.
 - nejsou ohroženy životy obyvatel objektu při možném úniku spalín netěsnostmi v kouřovodu nebo komínu.
 - je zajištěn bezpečný průchod pro čistící nástroje.
 - je zajištěn přístup k místům kontroly a čištění komínů (kouřovodů).

tepelný výkon (kW)	datum uvedení zdroje do provozu		
	do 31.12.1982	do 31.12.1985	od 1.1.1990
15 až 20	68 %	69 %	70 %
20 až 50	70 %	71 %	72 %
> 50	72 %	73 %	74 %

Tabulka č. 4.6. Platné limitní účinnosti spalování v závislosti na výkonu pro malé spalovací zdroje [14]

4.2 Spalování biomasy

Moderním spalování biomasy je velice odlišné v porovnání se spalováním fosilních paliv. Je to dáno několika odlišnostmi. V přirozeném, původním stavu je biopalivo lehčí a objemnější. Má vysoký obsah prchavé hořlaviny (až 80 %) a má určitou nepříznivou vlhkost. Tyto faktory vyžadují, aby topeniště všech typů a výkonností byla podstatně větší. A to pro dosušení paliva před jeho zapálením a pro dokonalé promíchání spalných plynů se vzduchem, a to jak primárním, který přichází přímo do paliva a ovlivňuje výkon topeniště, tak se sekundárním, který je přiveden k hořícím plynům. Do velkých zařízení se přivádí i terciární vzduch, který zajišťuje dokonalost prohoření paliva, konečnou tvorbu tepla, účinnost a také hladinu škodlivých látek. U moderních zařízení jsou přívody primárního a sekundárního vzduchu oddělené a tím je umožněna jejich účinná regulace. Sekundární vzduch by měl být vždy přehřátý, aby nedocházelo ke zbytečnému ochlazování plamene. Podle tepelného výkonu, místa používání, typu paliva a případné kombinace paliv se rozlišuje několik typů kotlů [16].

4.2.1 Kotle malých výkonů do 200 kW

dřevo-zplyňující kotle

Tyto kotle mají většinou jmenovitý výkon od 15 - 50 kW, ale výjimečně můžou mít i větší a používají se pro rodinné domky a podobné menší objekty. Kotle se většinou provádí s horním zásobníkem paliva. Kde je palivo dodáváno ruční obsluhou. Palivo odhořívá a zplyňuje se odspoda pomocí hořáku a přístupu primárního vzduchu. Středová tryska zajišťuje přívod sekundárního vzduchu. Spaliny pak prohořívají v šamotové neochlazené komoře a putují do teplosměnného systému. Kotle bývají často vyrobeny ze svařovaných plechů o tloušťce 6 až 8 mm. Jako palivo slouží polínkové dříví s délkou do 50 cm a průměrem do 15 cm. Také se dají použít dřevní a slaměné brikety [16].

V ČR je mnoho výrobců takovýchto kotlů. Jelikož je firma Verner a.s. jedna z nejznámějších českých výrobců těchto kotlů, vybral jsem její kotle k detailnějšímu popisu.

Tato firma vyrábí kotle na dřevo ve dvou výkonnostních řadách (25 a 45 kW). Všechny kotle mají podobnou konstrukci. Typ kotle Verner V25D na obr. 4.2 je konstruován jako dvoukomorový pro spalování kusového dřeva na principu generátorového zplyňování. V horní komoře dochází k vysoušení a zplyňování paliva za přístupu primárního vzduchu. Vzniklý plyn prochází keramickou tryskou, kde se mísí se sekundárním vzduchem, do spodní komory. Ve spodní komoře, která je na bočních stěnách opatřena vodním pláštěm, plyn na stabilizační ploše vyhořívá. Kotel je vyroben s ohledem na potlačení prorozávění stěn z kotlových plechů třídy 11. Kotel má těžkou keramickou vyzdívku s mikrovýztuhou pro zajištění dlouhodobé stáložárnosti. Tepelný výkon kotle je řízen elektronickým regulátorem, který snímá různé výstupní veličiny a na základě nich řídí proces spalování. Tím je zaručena vysoká účinnost kotle který dosahuje až 90 %. Jeho výkon je regulovatelný od 12,5 až po plných 25 kW při průměrné spotřebě paliva 7,5 kg/hod [17].

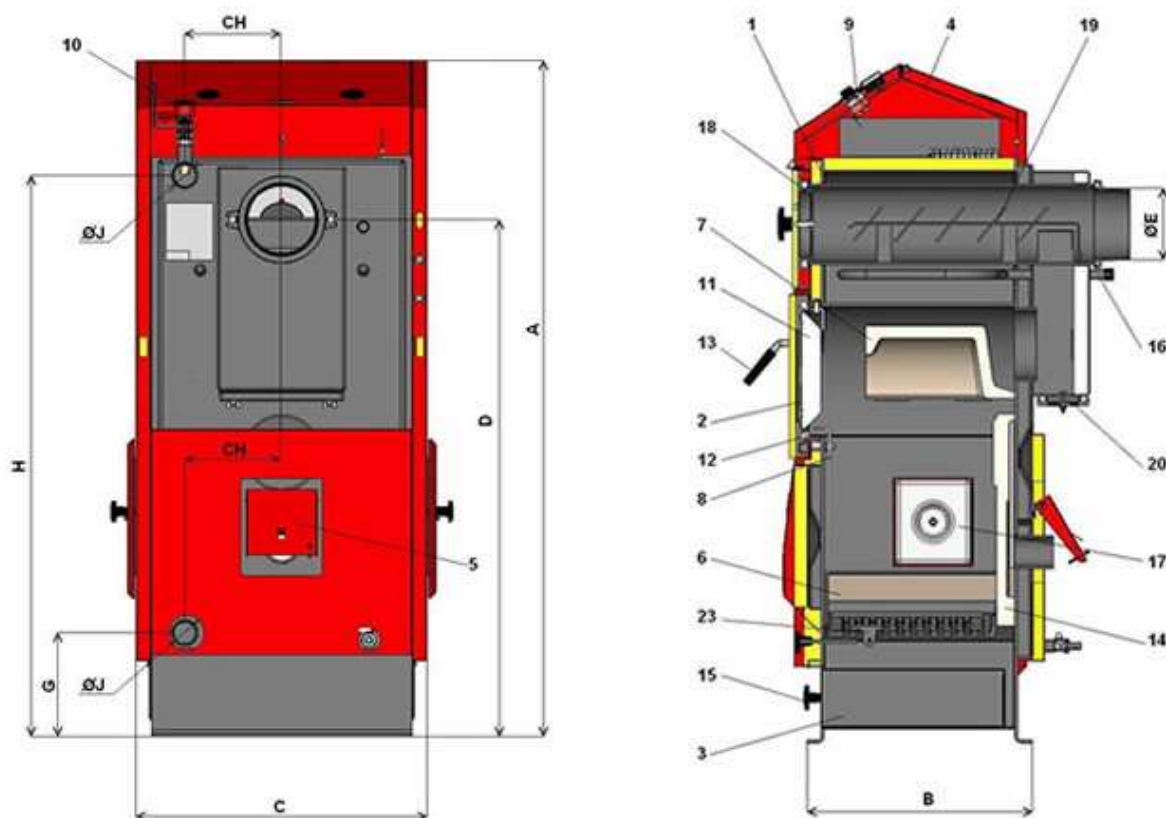


Obr. 4.2 kotel Verner V25D

Automatické kotle

Spalují většinou dřevní pelety a štěpku. Používají se pro vytápění bytů, rodinných domů ale i pro větší budovy (případně i menší komplexy budov). Kotel se obvykle skládá z mechanicky plněné násypky paliva, šnekového vkladáče, topeniště s hořákem, automatického zapalovače, dohořívací neochlazené komory, tepelného výměníku, popelníku (nebo vynášecího šnekového dopravníku popele), a počítačového regulačního systému. U těchto typu kotlů byl vybrán kotel od firmy ATMOS [16].

Tato česká firma je v současnosti jedna z největších evropských výrobců kotlů na tuhá paliva. Vyrábí také plně automatické kotle na pelety. Tyto kotle mají ze strany kotle zabudován hořák na pelety, který si plně automaticky, za pomoci šnekového dopravníku, odebírá pelety ze zásobníku. Zásobníky bývají vyráběny v různých velikostech podle potřeby. Palivo ze zásobníku jde přes dopravník až k hubici hořáku, který se sám zapálí topným tělískem. Výkon kotle a další regulace hořáku jsou řízeny elektronickou regulací, která umožňuje chod kotle přizpůsobit konkrétním podmínkám. Schéma takového kotle je na obr. 4.3 [18].



Obr. 4.3 Automatický kotel na peletky od firmy Atmos typ D15

popis jednotlivých částí:

- | | |
|---|--|
| 1. Těleso kotle | 11. Výplň dvířek – Sibal |
| 2. Dvířka plnicí | 12. Těsnění dvířek 18 x 18 mm |
| 3. Popelník | 13. Uzávěr |
| 4. Ovládací panel | 14. Žáruvzdorná tvarovka |
| 5. Regulační klapka | 15. Šoupě - regulátor primárního vzduchu |
| 6. Žáruvzdorná tvarovka - dno topeniště | 16. Chladicí smyčka |
| 7. Žáruvzdorná tvarovka - vrchní kul. prostor | 17. Otvor pro hořák |
| 8. Clona topeniště | 18. Čistící víko |
| 9. Teploměr - termostaty a vypínače | 19. Brzdič |
| 10. Regulátor výkonu Honeywell FR 124 20 | 20. Čistící víko |

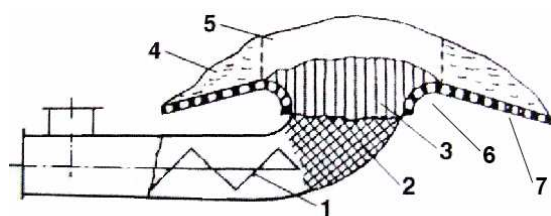
4.2.2 Kotle velkých a středních výkonů 0,2 až 5 MW

Konstrukce kotlů s takovými výkony jsou velmi podobné. Tyto kotle bývají plně automatické. Z tohoto důvodu vyžaduje palivo úpravu do podoby štěpky, odřezků, hoblin nebo pilin. Pro dopravu paliva se obvykle používají šnekové dopravníky nebo podávací zařízení. S aplikací šnekového podávacího zařízení souvisí použití spodního přívodu paliva. Palivo je v tomto případě do spalovací komory dopravováno zespoda a odhořívá shora, jak je zobrazeno na obr. 4.4 [16].

Spalování probíhá v třístupňovém procesu ve třech zónách [13]:

- 1. zóna - zde probíhá vysoušení a zplyňování dřevní hmoty.
- 2. zóna - zde dochází k hoření dřevního plynu na trysce s přívodem sekundárního vzduchu.
- 3. zóna – v této fázi dohořívá plyn v nechlazeném spalovacím prostoru.

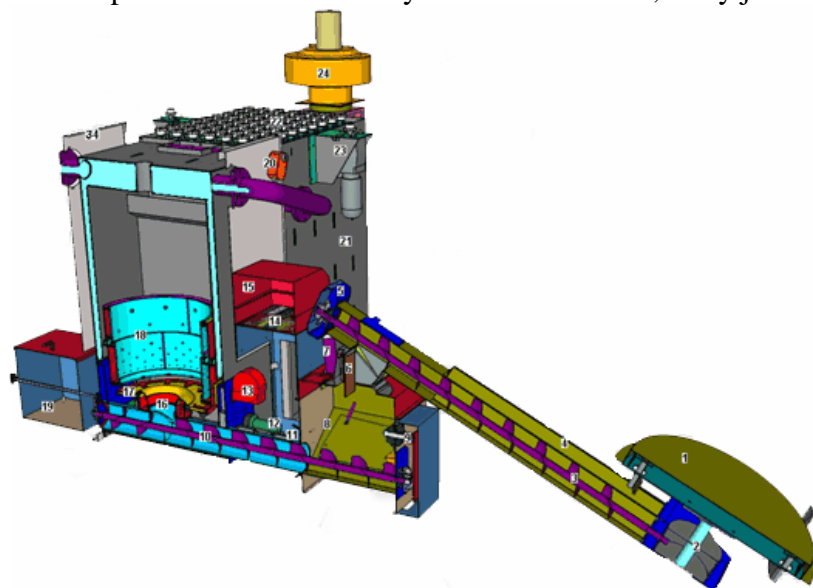
Teprve dohořelé spaliny přicházejí na teplosměnné plochy výměníku.



1. přívod paliva
2. pásmo vysoušení
3. pásmo uvolňování prchavé hořlaviny
4. pásmo vyhořívání prchavé hořlaviny
5. vyhořívání koksového zbytku
6. primární spalovací vzduch
7. sekundární spalovací vzduch

Obr. 4.4 Schéma spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva

Tuto technologii využívá např. česká firma HAMONT - Contracting and Trading spol. s r.o. např. u kotle CATfire s výkonem až 500 kW, který je na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Řez kotle CATfire od firmy HAMONT [19]

Při použití podávacího zařízení se používá ve většině případů posuvných (přesuvných) roštů. Posuvné rošty jsou šikmé roštové plochy sestavené z roštových lamel ovládaných elektricky, pneumaticky nebo hydraulicky. Celý povrch roštu je skloněn pod úhlem 15 až 18°. Jednotlivé stupně roštu jsou upevněny na nosné tyči tak, že konce roštnic jednoho stupně se opírají o povrch roštnic stupně následujícího, po kterém při pohybu kloužou. Pohyb vykonává buď každý stupeň roštu, nebo jen jeho liché části, přičemž sudé jsou uchyceny pevně. Při přesouvání a přesypu z jednoho stupně roštu na druhý se palivo částečně převrací a smíchává s palivem ještě nevzníceným. Tímto pohybem dochází k rozlámání spečené škváry a ta se posouvá stále níž až do škvárové výsypky. Přesuvné rošty jsou obzvláště vhodné pro spalování biopaliv vlhkých nebo s anorganickými příměsmi (výhřevnost 10,2 až 14,6 MJ/kg). V ČR tyto typy roštů využívá hodně firem jako např. Step TRUTNOV a.s., TTS eko s.r.o. Kromě spodního přívodu paliva a posuvných roštů se dá využít roštů pásových a řetězových [13].

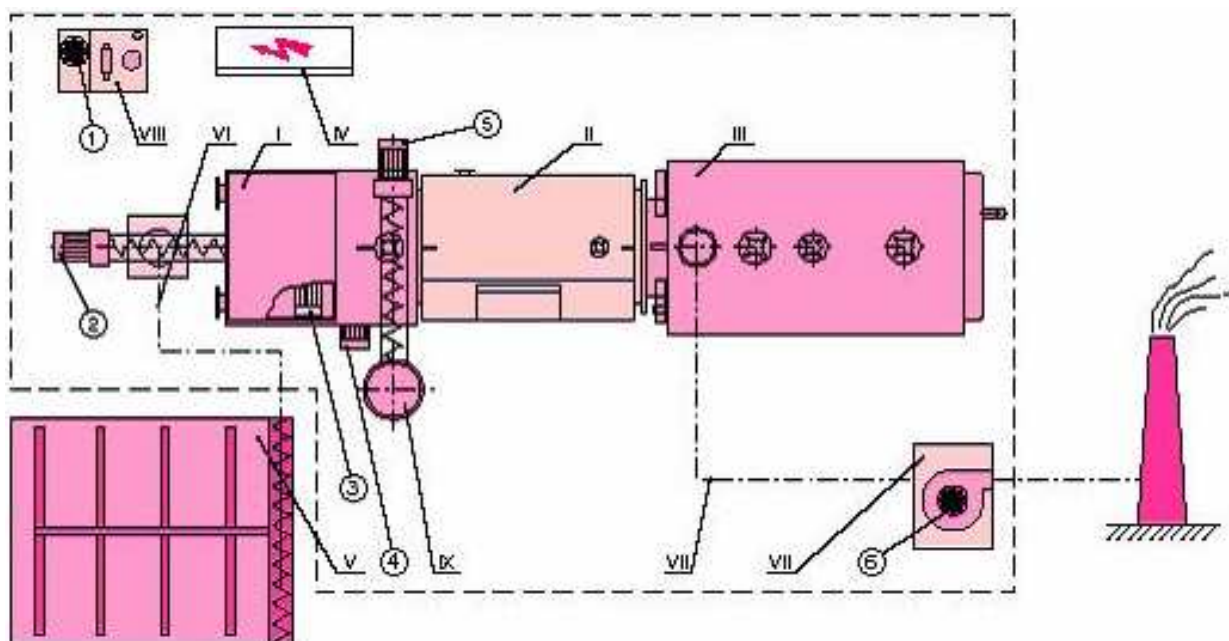
Řetězový rošt je v podstatě nekonečný pás, jehož horní plocha, na které spočívá vrstva paliva, tvoří roštovou plochu. U řetězového roštu je roštový pás složen z plochých deskovitých roštníček, které jsou vlastně články Gallova řetězu [13].

U pásových roštů jsou roštnice upevněny na příčných tyčích unášených dvěma postranními tažnými řetězy. Rošt je v provozu tepelně namáhán pouze v horní části, zatímco spodní část se chladí přiváděným spalovacím vzduchem. Proto pásový rošt snese výhřevnější palivo s porovnáním s posuvnými rošty (asi 18 MJ/kg) [13].

Kotle s pásovými a řetězovými topeništi jsou však v této výkonové kategorii méně obvyklé, neboť jejich pořizovací cena je poněkud vyšší než cena předcházejících kotlů (spodní přívod paliva a posuvný rošt) [13].

Kotle mohou být také konstruovány jako předtopeniště. Předtopeništěm se rozumí samostatná energetická jednotka pro efektivní spalování. Hlavní předností předtopenišť je to, že se mohou předřadit k již instalovaným kotlovým jednotkám na fosilní paliva, které nejsou na spalování biomasy vhodné. Tím se ušetří investiční náklady na rekonstrukci stávající kotelny. Také se můžou navzájem kaskádově spojit k dosažení větších výkonů. Takovéto kotle u nás vyrábí například firma Verner a.s. pod označením GOLEM [13].

Kotel GOLEM je sestaven z podávacího šneku paliva, hořáku, dohořivací komory, výměníku, odtahového ventilátoru, odlučovače s filtrem a odpopelňovacího zařízení. K příslušenství patří elektrický rozvaděč (ovládání celé technologie) a hydraulická jednotka na pohon roštu ve skladu paliva. Celý proces spalování je řízen regulací, jejíž komfort lze způsobit dle přání zákazníka. Palivo je do hořáku podáváno šnekem, který má protipožární ochranu proti proniknutí ohně do sila. V hořáku je palivo posunováno podavačem, a proto lze bez potíží spalovat i kůru nebo odpad znečištěný prachem a zeminou, který se spéká. Odpopelňování je automatické do připraveného kontejneru. Kotle Verner GOLEM jsou vyráběny ve výkonostních řadách od 90 do 2500 kW. Spojené v kaskádě mohou dosáhnout výkonu až 10 MW. Kotle spalují s účinností 86 - 90 % a dají se plynule regulovat od 40 do 100 %. Obecné schéma kotle je znázorněno na obr. 4.6 [17].



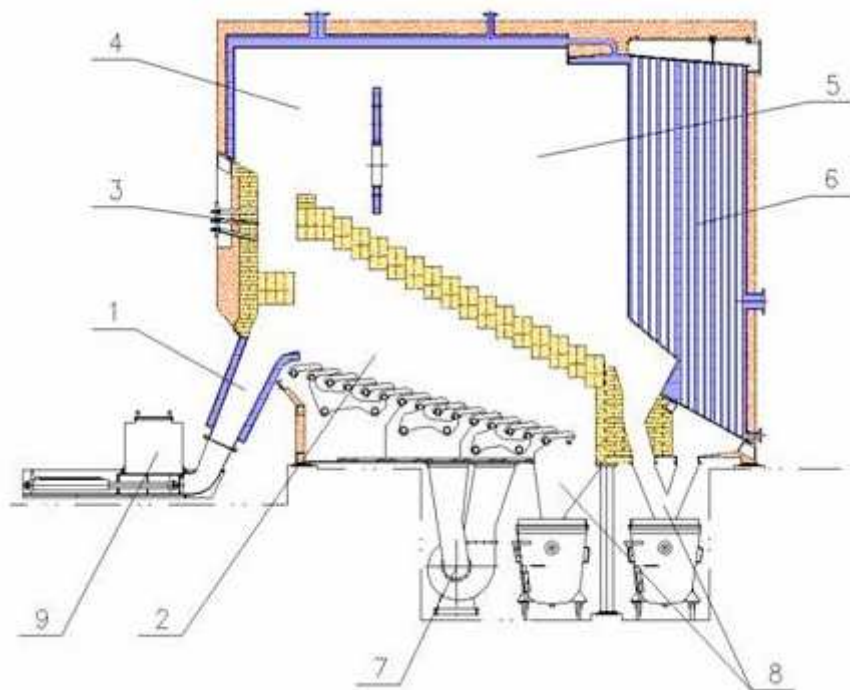
Obr. 4.6 Obecné schéma a popis kotle Verner GOLEM

Popis hlavních částí:

- | | |
|---------------------------|--|
| I. hořák | 1. pohon hydrogenerátoru |
| II. dohořivací komora | 2. pohon příkladacího šneku |
| III. výměník | 3. pohon ventilátoru spalovacího vzduchu |
| IV. řídicí jednotka | 4. pohon drtiče popela |
| V. zásobník paliva / silo | 5. pohon dopravníku popela |
| VI. dopravní cesty | 6. pohon spalínového dopravníku |
| VII. kouřovody a filtrace | |
| VIII. hydraulický agregát | |
| IX. popelnice | |

Další konstrukční řešení nabízí teplovodní kotel VESKO-B od firmy TTS eko s.r.o., který je celosvařované skříňové konstrukce. Kotel VESKO-B spaluje biomasu na posuvném roštu, nad kterým vhodně tvarovaná klenba vyvozuje protiproudé uspořádání spalin, které napomáhá ke zkrácení doby vysušení paliva. Spodní část kotle tvoří ohniště se suvným šikmým roštem. Rošt je ovládán hydraulickým mechanismem, je chlazený pásmovaným primárním vzduchem. Na ohništi je postaven tlakový díl. Kotel je opatřen tepelnou izolací, krytou ocelovým plechem s plastovým povlakem. Palivo je ze skladu paliva dopravováno do mezizásobníku. Odtud je do ohniště kotle dopravováno pomocí hydraulického zavážecího lisu. Před vstupem na spalovací rošt je palivo protlačováno vyhřívaným tunelem (vyhřívání topnou vodou), kde dochází k předsušení paliva [15].

Kotel VESKO-B se vyrábí ve výkonnostním rozsahu od 1 do 10 MW, ale obvykle se vyrábí o výkonu cca 2,5 MW. Jeho pracovní přetlak se pohybuje od 0,3 – 0,6 MPa a pracovní teplota je kolem 100 °C. Spaluje s účinností kolem 85 %. Schéma kotle VESKO-B je na obr. 4.7 [15].



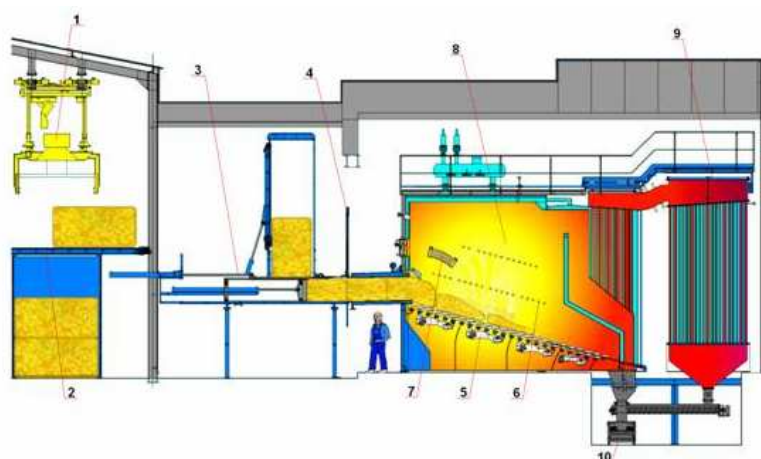
Hlavní části kotle:

1. Vyhřívaný vstup paliva
2. Roštová komora
3. Trysky sekundárního vzduchu
4. Vírová komora
5. Dohořivací komora
6. trubkový výměník
7. Vzduchové ventilátory
8. Odvod popele
9. Zavážecí lis paliva

Obr. 4.7 Schéma teplovodního kotle VESKO-B

Další typ kotlu, který vyrábí firma TTS eko s.r.o. má pojmenování VESKO-S a jeho schéma je na obr. 4.8.

Tento kotel spaluje výhradně balíky slámy. U kotlů na slámu bývá často problém zajistit požadované limity prachových částic, NO_x a CO. K tomu dochází spíše u kotlů menších výkonů, které nejsou dobře automatizované a nezajišťují rovnoměrnou dodávku paliva. Kotel VESKO-S je plně automatizován, takže zajišťuje rovnoměrnou dodávku paliva. Kotel je samostatný celosvařované skříňové konstrukce. Spodní část kotle tvoří skříň roštů, stěny spalovací komory jsou chlazené vodou. Rošt je chlazený spalovacím vzduchem, je ovládán hydraulickým mechanismem. Spaliny nejprve prochází prvním tahem konvenčního výměníku, dále postupují do dvoutahového odděleného vodního výměníku. Spaliny jsou z kotle odsávány přes systém odprášení spalinyvým ventilátorem a jsou odváděny do komína [15].



Popis hlavních částí:

1. Zakladač paliva
2. Dopravník slámy
3. Stříhací mechanismus
4. Branka
5. Šikmý suvný rošt
6. Přívod spalovacího vzduchu
7. Zapalovací klenba
8. Spalovací komora
9. Oddělený výměník
10. Dopravník popele

Obr. 4.8 Schéma kotle VESKO-S s popisem hlavní částí

4.2.3 Kotle zvláště velkých výkonu 5 MW a více

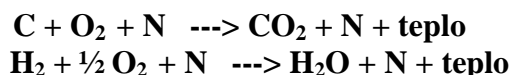
Velké výkony kotlů jsou požadovány při centralizovaném zásobování tepelnou energií. Centralizované zásobování teplem je systém, kdy teplo je vyráběno zpravidla v jednom větším zdroji, nebo v několika menších zdrojích, které jsou spojeny, a je dopravováno ke spotřebiteli tepelnými rozvody.

Jak už bylo zmíněno v kapitole 3., takto velké zdroje se u nás moc nevyskytují. Je to dáno tím, že takovéto velké zdroje se vyplácí jen ve strategicky dobrých lokalitách, kde je zajištěn velmi blízký, spolehlivý a trvalý zdroj paliva. Při zvážení spotřeby paliva při dovozu, ceně paliva a dalších aspektů je limitní vzdálenost pro dovoz paliva přibližně 44,6 km [20].

Centrální výtopny v obcích a menších městech byly realizovány zatím v cca 23. lokalitách. Doposud největší centrální výtopna na biomasu je v západočeském městě Žlutice. Má celkový jmenovitý výkon 7,9 MW a je kaskádově složena ze 4 kotlů. Jedním kotlem Verner GOLEM o jmenovitém výkonu 2,5 MW a třemi stejnými kotli o jmenovitém výkonu 1,8 MW [13].

5 Emise charakteristiky kotlů na biomasu

Při spalování biomasy vznikají stejné základní látky jako při spalování jiných organických paliv. Jedná se především o CO_2 a H_2O . Ty vznikají spalovací reakci, při které se slučují hořlavé plyny s vzduchem. Ten kromě kyslíku obsahuje také dusík. Spalovací reakce hořlavých plynů se vzdychem popisují rovnice níže. Vzniká při nich teplo. Dusík N, který se reakcí neučastní, přechází jako balastní složka do odpadních kouřových plynů nebo se slučuje s kyslíkem na škodlivé složky NO a NO_2 .



V závislosti na vedení, podmínkách spalovacího procesu a na sloučeninách obsažených v biomase, vzniká množství dalších látek, které jsou považovány za znečišťující [13].

V první řadě jde o oxid uhelnatý (CO), který je produktem nedokonalého spalování. V případě dostatečné teploty spalování a dostatečného množství spalovacího vzduchu je CO oxidován na CO_2 a jeho emise jsou minimální. Aby byly zajištěny minimální emise CO , musí být přebytek spalovacího vzduchu $\lambda = 1,6$ až 2. Při hodnotě $\lambda = 1$ by stačilo ke spálení 1 kg suchého dřeva asi 4,5 m³ vzduchu. Protože reakce spalování trvá jen zlomek vteřiny, je nutné množství vzduchu zvýšit [16].

Dále se jedná o oxidy dusíku (NO_x). V případě vysokých teplot, které ale nejsou při spalování biomasy obvyklé, vznikají především termické NO_x . Při teplotách běžných pro spalování biomasy (700 až 900 °C) vznikají především palivové NO_x , z dusíku obsaženém v palivu. Tvorba NO_x se omezuje pomocí řízeného spalování [13].

Velká výhoda biomasy je minimální množství síry v ní obsažené, a proto emise SO_2 z jejího spalování jsou velmi nízké. Tvorba tuhých znečišťujících látek neboli prachu je u spalování samozřejmá. K splnění emisních norem je proto potřeba, aby zvláště větší topeniště na biomasu byla vybavena zařízením na odstraňování prachu. V úvahu přitom přichází použití tkaninových filtrů, cyklonů a elektrostatických filtrů.

Zařízení na čištění spalin

Tkaninové filtry po většinu případu, kvůli určitému riziku požáru, nejsou vhodné pro kotle na biomasu. Proto jim nebudu dále věnovat pozornost.

V cyklonech se uvádějí kouřové plyny do rotace díky proudění vzduchu. Vlivem odstředivé síly jsou pevné částičky tlačeny na obvod cyklonu a zde jsou oddělovány. Cyklony jsou technicky jednoduché a v provozu bezpečné. Neobsahují žádné součásti, které spotřebovávají energii, působí však určitou tlakovou ztrátu v kouřových plynech, která má za následek vyšší spotřebu energie kouřového ventilátoru. Při aplikaci cyklonů v praxi vykazují koncentrace prachových částic velký rozptyl, přibližně mezi 20 až 180 mg/m³. Cyklony jsou jak investičně, tak i provozně levnější než elektrostatické filtry, a proto se jim dává přednost [13].

V elektrostatických filtrech je prach oddělován silovým působením elektrického pole (15 až 30 kV). Prachové částice jsou ionizovány v ionizační oblasti oddělené od vylučovací oblasti, nebo se ionizace a oddělování uskutečňuje v stejné oblasti. Elektrostatickými filtry

mohou být prachové částice téměř zcela odstraněny. V praxi je stupeň odloučení v konvenčních filtrech až 95 %. V některých špičkových zařízeních až 99 %. Tím se dosáhne emisí prachu nižších než 10 mg/m_N^3 . S úrovní těchto filtrů stoupá také investiční cena a dále pak cena provozní, jelikož tyto filtry jsou velice náročné na spotřebu elektrické energie [13].

5.1 Emisní měření na biomasovém kotli

V této kapitole jsou shrnuty informace z autorizovaného měření emisí a vzduchotechnických parametrů ze dne 24. 2. 2006 na kotli CATfire 500, které poskytla firma HAMONT – CAT spol. s.r.o.

Účelem bylo stanovit hmotnostní koncentrace a tok emisí tuhých látek, plyných emisí oxidu uhelnatého (CO), oxidu siřičitého (SO_2), oxidů dusíku (NO_x), vyjádřených jako NO_2 , včetně stanovení účinnosti odlučovacího zařízení.

Popis měřeného zařízení je uveden na obr. 5.1, podrobné technické parametry jsou rozepsány níže.

Technické parametry

Kotel

výrobce kotle: Hamont – CAT, spol s.r.o.
typ: KWB – UNIT US 500
výrobní č., rok výroby: 500/3/00, 2000
jmenovitý tepelný výkon: 500 kW
teplota ohniště: 900-1100 °C
max. výstupní teplota vody: 90 °C

Palivo

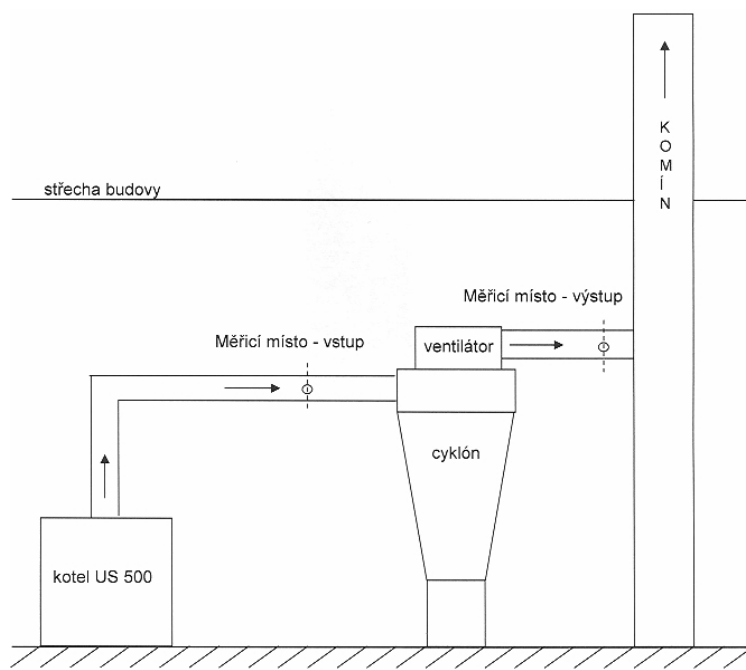
druh: pilinové granule
složení: piliny + lisovaná sláma

Provozní podmínky zařízení

Teplota vody (výstup): 70 – 72 °C
Průměrná spotřeba paliva: 65 kg.h⁻¹
Filtreační materiál: filtr ze skelných vláken
Tlak vody (výstup): 180 kPa

Popis měření

Měření bylo provedeno jako jednorázové dle vyhlášky MŽP č. 356/2002 Sb. Tuhé znečišťující látky byly stanoveny gravimetricky dle ČSN ISO 9096. Jednotlivé vzorky byly odsávány izokineticky v měřících místech ve stejných časových intervalech kombinovanými odběrovými sondami umístěných ve 2 měřících bodech. Měřící místo zařízení bylo zvoleno na rovném úseku vodorovného kruhového potrubí na vstupní části před odlučovačem a na výstupní části za odlučovačem (viz obr. 5.1). Odběr vzorků pro stanovení koncentrace plyných emisí byl proveden vyhřívanou odběrovou sondou s vyhříváním vedením a následnou dopravou přes úpravnu vzorku k analyzátorům. Měření proběhlo za provozních podmínek zařízení v době od 11:00 do 17:00 hod.



Obr. 5.1 Grafické znázornění měřících míst

Výsledky měření

Výsledky měření podle tabulky 5.1 jsou hodnoceny ke vztažným podmínkám. Vztažnými podmínkami pro uvedené koncentrace je suchý nosný plyn, normální stavové podmínky (teplota 0 °C a tlak 101,32 kPa), obsah kyslíku v nosném plynu činí 11 %.

Druh znečišťující látky	Tuhé látky		Oxid uhelnatý	Oxidy dusíku jako NO ₂	Oxid siřičitý
Měřicí místo	vstup	výstup	-	-	-
Rozmezí koncentrací za vztažných podmínek mg.m ⁻³	102 - 130	29 - 47	152 -323	179 – 254	< 4
Prům. koncentrace za vztažných podmínek mg.m ⁻³	114	36	211	199	< 4
Průměrný hmotnostní tok emise kg.h ⁻¹	0,027	0,009	0,052	0,049	< 0,001
Stř. měrné výrobní emise(vztažená na spotřebu) g.kg ⁻¹	0,412	0,134	0,806	0,757	< 0,02
Celková odlučitelnost zařízení %	65,86		-	-	-

Tabulka č. 5.1 Výsledky měření u kotle CATfire 500kW

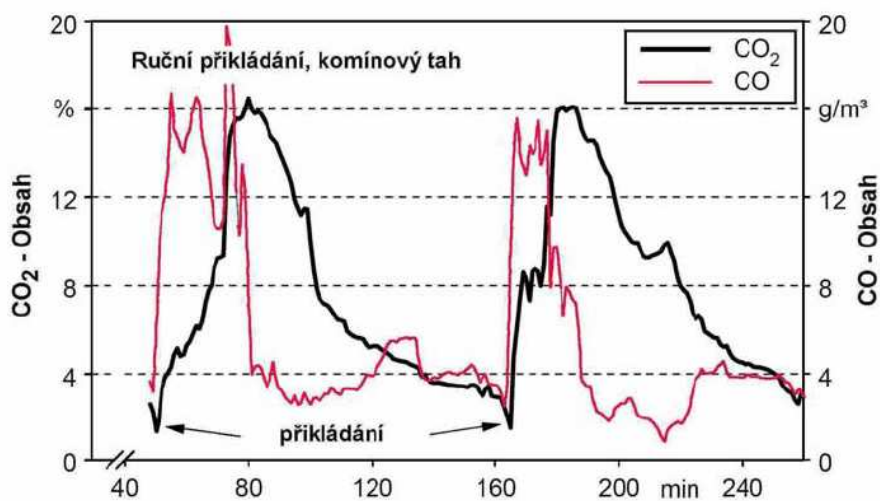
Při srovnání výsledků z měření s legislativními emisními hodnotami uvedenými v nařízení vlády č. 352/2002 Sb., je patrné, že emise nepřekročily stanovené limitní hodnoty a zařízení je tedy vyhovující. Kompletní zpráva z těchto emisních zkoušek je součástí elektronické přílohy.

5.2 Vliv kolísání výkonu na emise

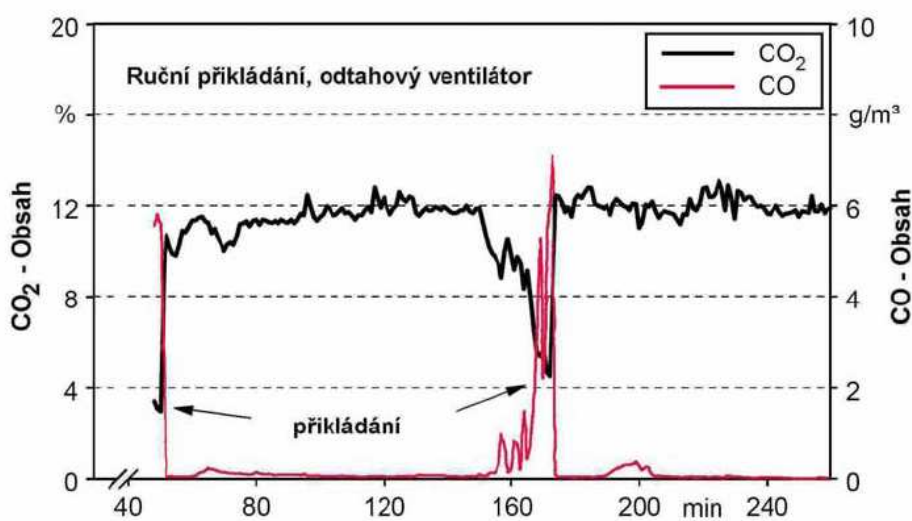
U každého kotle na spalování dochází ke kolísání výkonu ať už samovolnému nebo pomocí regulace, která zajišťuje potřebné podmínky spalování. Regulace výkonu se provádí prostřednictvím přísunu paliva, primárního a sekundárního vzduchu. Regulace se provádí většinou v závislosti [13]:

- na odběru tepla
- na složení komínových plynu.

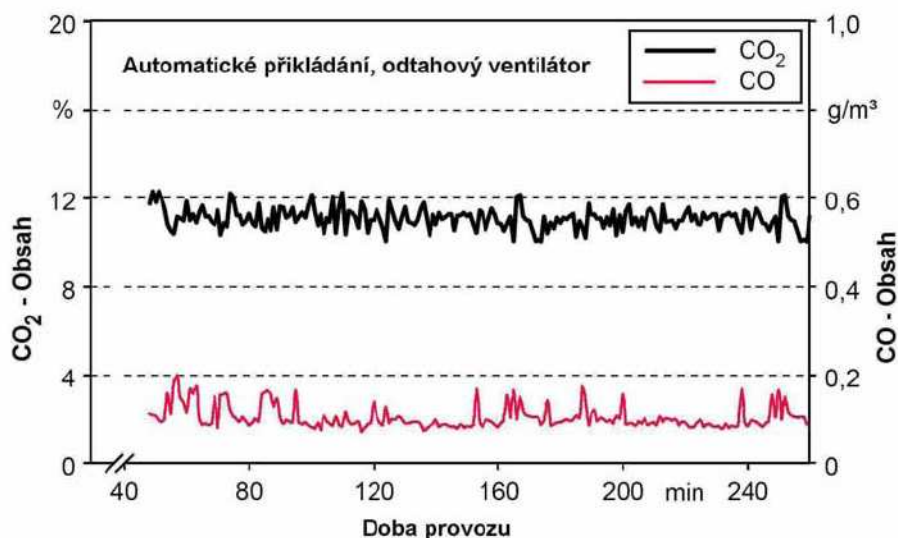
Při kolísání výkonů dochází také ke kolísání emisí. Největší problém tohoto kolísání je u kotlů s ručním přikládáním bez ventilátoru v komínu dle obr. 5.2. V případě ručního přikládání, kde je ke kotli připojen odtahový ventilátor, jsou výsledky lepší (viz obr. 5.3). U automatického přikládání je pak kolísání emisí značně omezeno (viz obr. 5.4) [16].



Obr. 5.2 Kolísání emisí CO a CO_2 při ručním přikládání



Obr. 5.3 Kolísání emisí CO a CO_2 při ručním přikládáním použitím odtahového ventilátoru



Obr. 5.4 Kolísání emise CO a CO₂ při Automatickém přikládání s použitím odtahového ventilátoru

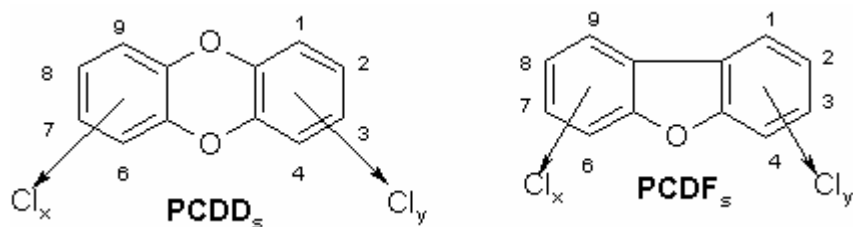
5.3 Persistentní organické látky při spalování biomasy

Při spalování biomasy dochází ke vzniku nežádoucích doprovodných škodlivin, včetně látek spadajících do skupiny persistentních organických látek (POPs). Tyto látky vznikají při spalovacím procesu organických látek za přítomnosti chloru a při katalýze kovů, zejména mědi. Persistentní organické látky vykazují výrazné toxické vlastnosti se škodlivým vlivem na lidské zdraví a životní prostředí [21].

Do skupiny persistentních organických látek jsou zahrnuty [22]:

- polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)
- polychlorované bifenyly (PCB)
- polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDD/F, dále rovněž dioxiny).

Polycyklické aromatické sloučeniny (PAH) a polychlorované bifenyly (PCB) mají poměrně nízký řád toxicity a nejsou tak nebezpečné jako dioxiny. Skupina látek na obr. 5.5 je souhrnně označována jako „dioxiny“. Jsou odvozeny od dibenzo-p-dioxinu a dibenzofuranu s různým počtem atomů chloru substituovaných v polohách 1 až 8 [22].



Obr. 5.5 Schéma chemických vazeb PCDD a PCDF [16]

Tato skupina obsahuje 210 možných derivátů a vyskytují se mezi nimi látky s malou toxicitou, ale i vysoce účinné jedy. Toxické působení bylo prokázáno u 17 z nich, přičemž nejvyšší účinek vykazuje 2,3,7,8 tetrachlordibenzodioxin (2,3,7,8 TCDD). Výsledky z měření

dioxinů se počítají na TEQ (toxický ekvivalent v přepočtu na toxicitu kongeneru 2, 3, 7, 8 – TCDD) v 1 m³ spalin.

V Praze v roce 2002 provedl výzkumný tým na VŠCHT průzkum tvorby dioxinů na několika spalovacích zdrojích na biomasu. Výsledky sepsané v tabulce 5.2 byly zneklidňující, jelikož za běžných podmínek spalování vznikaly dioxiny v míře až 40-ti násobku vyšší než u spaloven komunálního odpadu, pro než je limit 0,1 ng TEQ v 1 m³ [21, 22].

	Bioteplárna v Dešné (0,9 MW)	Kotelna ve Svatce firmy Tracant Fabri (980 kW)	Kotel Verner V25 (25 kW)	Krbová kamna Pelotop (5,25 kW)
Koncentrace dioxinů v TEQ/m ³	4,1	3,7	7,1	5,1

Tabulka č. 5.2 Hodnoty koncentrace dioxinů z různých zdrojů [21]

Jelikož pro kotle na biomasu není vládou ustanovený žádný limit pro dioxiny, provozovatelé se zatím těmito emisemi nemusejí zabývat.

6 Závěr

Bakalářská práce podává systematický pohled na energetické využití biomasy i s jejími důsledky. Je to velice diskutované téma, jelikož spotřeba energie roste a zásoby fosilních paliv, na kterých je ČR závislá, jsou omezené a s tím také roste jejich cena.

Jednou z možností řešení snížení této závislosti představuje využívání obnovitelných zdrojů energie. V České republice se jako velmi perspektivní zdroj jeví biomasa, a její využívání začíná vzrůstat již nyní. Využití biomasy k energetickým účelům nemá pouze ekonomický důvod, ale také ekologický. V důsledku spalování fosilních paliv vzrůstá koncentrace oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů, které omezují vyzařování tepla ze zeměkoule zpět do vesmíru, což zapříčiňuje globální oteplování planety. Při spalování biomasy se taktéž produkuje oxid uhličitý, který ale skleníkový efekt nenavyšuje, jelikož rostliny během svého růstu zpětně spotřebují oxid uhličitý z ovzduší.

Z emisní zkoušky poskytnuté firmou HAMONT - Contracting and Trading spol. s r.o., která byla provedena na kotli spalující slámu Catfire s výkonem 500 kW, je patrné, že i ostatní znečišťující látky jsou nižší, než u spalování paliv fosilních. Zdaleka nejnižších výsledků emisí dosahují plně automatické kotle středních a velkých výkonů (0,2 až 5 MW). Z těchto kotlů jsou ve většině případů spaliny vedeny přes čistící zařízení a tím je dosaženo i velice nízkých hodnot emisí tuhých znečišťujících látek. Biomasa obsahuje velmi malé procento síry a emise oxidu siřičitého je tudíž zanedbatelná.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Petříková V., Punčochář M.: Biomasa – alternativní palivo z hlediska chemického složení, Biom.cz, 2007, ISSN: 1801-2655,
dostupné z WWW: <http://biom.cz/index.shtml?x=2016523>
- [2] Energy, Yearly statistics 2005, Statistical books, Eurostat, ISSN 1830-7833
- [3] Zákona č. 180/2005 Sb., Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, dostupný z WWW: <http://biom.cz/legislative.stm?x=234651>
- [4] Obnovitelné zdroje energie v roce 2006, Ministerstvo průmyslu a obchodu,
dostupné z WWW: <http://www.mpo.cz/dokument33817.html>
- [5] Kadrnožka, J.: Energie a globální oteplování, ISBN 80-214-2919-4, VUTIUM, 2006
- [6] Akční plán EU pro biomasu, dostupný z WWW:
http://europa.eu.int/eurlex/lex/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005_0628en01.pdf
- [7] Návrh akčního plánu pro biomasu pro ČR na období 2008-2010
dostupný z WWW: http://biom.cz/appb/AP_biomasa_12-10-07.pdf
- [8] Informační leták ministerstva životního prostředí, dostupný z WWW:
[http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/\\$pid/MZPMRF45OSUY/\\$FILE/OZE-czech.pdf](http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/$pid/MZPMRF45OSUY/$FILE/OZE-czech.pdf)
- [9] Energetické parametry biomasy :projekt : GAČR 101/04/1278 /Brno :VUT Fakulta strojního inženýrství,2007. 1. vyd. 91 s. ISBN 978-80-214-3493-6
- [10] Vyhláška 482/2005 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy dostupná z WWW: http://biom.cz/leg/sb168-05_482.pdf
- [11] Energie biomasy, dostupné z WWW:
<http://www.ekowatt.cz/library/infolisty/infolisty1999/biomasa.php3>
- [12] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Biomasa - obnovitelný zdroj energie. *Biom.cz* [online]. 2001-11-16 [cit. 2008-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/index.shtml?x=48073>>. ISSN: 1801-2655.
- [13] Biomasa: obnovitelný zdroj energie, Praha, FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-86534-06-5
- [14] Nařízení vlády 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- [15] oficiální stránky firmy TTS eko s.r.o.
dostupné z WWW: <http://www.tts.cz/eko/>

- [16] ANDERT, D., SLADKÝ V., ABRHAM, Z.: Energetické využití pevné biomasy, Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006, ISBN 80-86884-19-8
dostupné z WWW: http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2006_07.pdf
- [17] oficiální stránky firmy Verner a.s.
dostupné z WWW: <http://www.verner.cz/main.php?locale=cz>
- [18] oficiální stránky firmy Atmos- Jaroslav Mankař a syn
dostupné z WWW: <http://www.atmos.cz/czech/>
- [19] oficiální stránky firmy HAMONT - Contracting and Trading spol. s r.o.
dostupné z WWW: <http://www.hamont.cz/>
- [20] TRNOBRANSKÝ, K.: Ekonomie dopravy dřevní hmoty, 2003
dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1498&h=1&th=56>
- [21] VÁŇA, Jaroslav: Spalování biomasy a tvorba PCDD/F. Biom.cz [online]. 2002-02-21 [cit. 2008-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/index.shtml?x=71291>>. ISSN: 1801-2655.
- [22] Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, kolektiv autorů, ČEZ, Praha 2007

8 Seznam použitých zkratek a symbolů

ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
OZE	obnovitelné zdroje energie
PEZ	primární energetické zdroje
PHM	pohonné hmoty
TZL	tuhé znečišťující látky